

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Atsushi WATANABE, et al.

Application No.: TBA

Group Art Unit: TBA

Filed: March 24, 2004

Examiner: TBA

For: IMAGE PROCESSING DEVICE

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicants submit herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2003-083349

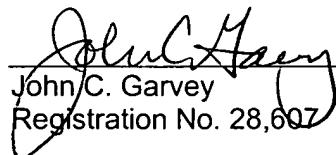
Filed: March 25, 2003

It is respectfully requested that the applicants be given the benefit of the foreign filing date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: 3-24-04

By: 
John C. Garvey
Registration No. 28,607

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は、下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 3月25日

出願番号
Application Number: 特願2003-083349

[ST. 10/C]: [JP 2003-083349]

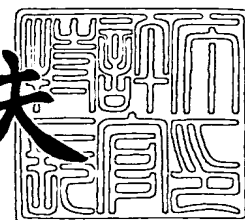
出願人
Applicant(s): ファナック株式会社



2004年 2月12日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3008865

【書類名】 特許願

【整理番号】 21643P

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 渡邊 淳

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 藁科 文和

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 山田 慎

【特許出願人】

【識別番号】 390008235

【氏名又は名称】 ファナック株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082304

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹本 松司

【電話番号】 03-3502-2578

【選任した代理人】

【識別番号】 100088351

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉山 秀雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100093425

【弁理士】

【氏名又は名称】 湯田 浩一

【選任した代理人】

【識別番号】 100102495

【弁理士】

【氏名又は名称】 魚住 高博

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015473

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9306857

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 画像処理装置及びロボットシステム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対象物のモデルパターンと前記対象物を撮像した画像データとのパターンマッチングを行って、対象物の位置及び／又は姿勢を求める画像処理装置において、

前記対象物を含む画像データを取込む画像データ取り込み手段と、

前記対象物と同種の物体を前記画像データ取り込み手段に対して一つの基準相對姿勢にして捉えた画像データに基づいて、モデルパターンを作成する手段と、

前記モデルパターンに 2 次元の幾何学的変換を施すことにより、前記基準相對姿勢と 3 次元的に異なる相對姿勢での対象物の見え方を表す変換モデルパターンを作成する手段と、

前記画像データに対して変換モデルパターンを使用してパターンマッチングを行う手段と、

複数の 3 次元的な相對姿勢について、前記変換モデルパターンの作成と前記パターンマッチングを繰り返すことにより、適合する変換モデルパターンを選択し、前記画像データにおける前記対象物の位置情報を得る手段と、

前記画像データにおける前記対象物の位置情報と、前記選択された変換モデルパターンに対応する相對姿勢情報に基づいて前記対象物の 3 次元位置及び／又は 3 次元姿勢を認識する手段と、

を備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】 対象物のモデルパターンと前記対象物を撮像した画像データとのパターンマッチングを行って、対象物の位置及び／又は姿勢を求める画像処理装置において、

前記対象物を含む画像データを取込む画像データ取り込み手段と、

前記対象物と同種の物体を前記画像データ取り込み手段に対して一つの基準相對姿勢にして捉えた画像データに基づいてモデルパターンを作成する手段と、

前記モデルパターンに 2 次元の幾何学的変換を施すことにより、前記基準相對姿勢と 3 次元的に異なる相對姿勢での対象物の見え方を表す変換モデルパターン

を作成する手段と、

前記相対姿勢の情報と前記変換モデルパターンとを対応させて複数記憶する記憶手段と、

前記対象物を含む画像データに対して前記複数の変換モデルパターンを使用してパターンマッチングを行い、適合する変換モデルパターンを選択する手段と、

前記選択した変換モデルパターンと適合した、前記画像データにおける前記対象物の位置情報を得る手段と、

前記画像データにおける前記対象物の位置情報と、前記選択された変換モデルパターンに対応する相対姿勢情報に基づいて前記対象物の 3 次元位置及び／又は 3 次元姿勢を認識する手段と、

を備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 3】 前記幾何学的変換がアフィン変換であり、対象物の傾きの符号を追加計測を行うことにより求める、請求項 1 または請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】 前記追加計測は、前記モデルパターンを少なくとも 2 つの部分の部分モデルパターンに分割し、夫々の部分モデルパターンにアフィン変換を施して作成した変換部分モデルパターンでパターンマッチングを行って、夫々の最も適合するサイズを求め、該求めたサイズの大小を比較することにより行う、請求項 3 に記載の画像処理装置。

【請求項 5】 前記追加計測は、前記画像データ取り込み手段の近傍に別途設けた変位センサにより、対象物上の少なくとも 2 点と該変位センサとの距離を夫々計測し、計測した距離を比較することにより行う、請求項 3 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】 前記追加計測は、前記画像データ取り込み手段を少し移動、または少し傾けて再度取込んだ画像に対してパターンマッチングを行い、対象物の姿勢の傾きが前回より大きくなるか小さくなるかを比較することにより行う、請求項 3 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】 請求項 1 乃至 6 の内、何れか 1 項に記載の画像処理装置とロボットを組み合わせ、前記ロボットの前記対象物に対する相対的な作業姿勢、ま

たは前記対象物に対する相対的な作業姿勢及び相対的な作業位置を記憶する手段と、

前記認識した対象物の 3 次元位置姿勢に基き、前記ロボットの作業姿勢、または作業姿勢及び作業位置を求める手段と、

を備えたロボットシステム。

【請求項 8】 前記画像データ取り込み手段を、前記ロボットに搭載したことを特徴とする請求項 7 に記載のロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、視覚センサで得られる画像を処理して、対象物の位置及び／又は姿勢に関する情報を取得する画像処理装置、並びに、同画像処理装置をロボットと組み合わせたロボットシステムに関する。本発明は、例えば部品の認識、特に、3 次元な位置姿勢が未知の対象物の位置姿勢を認識する必要があるアプリケーションに適用される。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

複数の同一形状の部品が乱雑に山積みされている場合、あるいは、所定領域内（例えば定置されたカゴ状の容器内）に 3 次元的に異なる任意の位置姿勢で収納されている場合、それら部品の集合から個々の部品を取り出す作業をロボットのような自動機械で確実に実行することは困難であるのが実状である。そのため、それら位置姿勢が不定の部品をロボットなどの自動機械を使用して部品を他のパレットなどに収容したり、機械や装置などの所定の位置に搬送するような場合には、予めロボットで取り出せるように部品を整列させておく必要が生じている。

【 0 0 0 3 】

上記のように、同一形状の部品が 3 次元的に様々な位置姿勢にある場合、ロボットでの取り出しが困難である根本的な理由は、各部品の位置姿勢を確実に把握できないことにある。そこでこの問題を解決するために、画像処理装置を用いて、作業の対象となっている部品（対象物）を撮像し、得られた画像データを処理

して、対象物の位置や姿勢を認識する方法が従来より各種提案されている。

【0 0 0 4】

例えば、正規化相互相関値を使ったパターンマッチング（または、テンプレートマッチング）、S A D（Sum of Absolute Difference）を使ったパターンマッチング、特徴点を使ったパターンマッチング、一般化ハフ変換などがある（下記特許文献 1 を参照）。

【0 0 0 5】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 0 - 2 9 3 6 9 5 号公報

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、これら方法はいずれも、教示したモデルパターン（またはテンプレート）と同じ形状（または同じ形状の濃淡パターン）を、画像データ中に認識することを目的としている。従って、対象物（例えば部品；以下、同じ）がモデルパターンを教示した時と 2 次元的に異なる姿勢で置かれた場合、言い換えれば、カメラの光軸に垂直な平面内のみで平行移動したり回転移動したりした場合であれば、その対象物の像を認識することが出来るが、不定姿勢で山積みされた時のように、対象物がモデルパターンを教示した時と 3 次元的に異なる姿勢で置かれた場合には、その対象物の像の認識ができない。

【0 0 0 7】

即ち、図 1（a）、（b）に示した如く、一般に、対象物の 1 つ（又は対象物と同一形状のダミー）をカメラで撮像し、モデルパターンを教示した時（a）と、その後、実際に対象物を認識しようとした時（b）とでは、対象物の姿勢は 3 次元的に異なっている。そのため、教示時（a）に得られる対象物画像（2 次元）と、実際に対象物を認識しようとした時（b）に得られるの対対象物画像（2 次元）とは、その形状が異なって映っている。それ故、予め教示したモデルパターンによりパターンマッチングを適用しても、対象物の認識を行なうことができない。

【0 0 0 8】

本発明の目的は、このような従来技術の問題点を解決し、対象物（例えば部品など）のモデルパターンを1つ教示するだけで、モデルパターン教示時と比較して、画像上での形状変化の無い平行移動、回転移動、上下移動（画像上での拡大縮小）があった場合の他、画像上での形状が異なって映るような3次元的な相對姿勢の相違があっても、取得した画像データ中にその対象物を検出し、同対象物の3次元位置及び／又は3次元姿勢を認識することが出来るようにすることにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明においては、教示されたモデルパターンに幾何学的変換を施した変換モデルパターンを使ってパターンマッチングを行うことで、平行移動、回転移動、拡大縮小に加えて、3次元的に異なる相對姿勢の対象物も認識する。

【0010】

より具体的に言えば、先ず本発明は、対象物のモデルパターンと前記対象物を撮像した画像データとのパターンマッチングを行って、対象物の位置及び／又は姿勢を求める画像処理装置に適用される。

そして、請求項1に係る発明では上記タイプの画像処理装置に、前記対象物と同種の物体を視点に対して一つの基準相對姿勢にして捉えた画像データに基づいて、モデルパターンを作成する手段と、前記対象物を含む画像データを取込む画像データ取り込み手段と、前記モデルパターンに2次元の幾何学的変換を施すことにより、前記基準相對姿勢と3次元的に異なる相對姿勢での対象物の見え方を表す変換モデルパターンを作成する手段と、前記画像データに対して変換モデルパターンを使用してパターンマッチングを行う手段と、複数の3次元的な相對姿勢について、前記変換モデルパターンの作成と前記パターンマッチングを繰り返すことにより、適合する変換モデルパターンを選択し、前記画像データにおける前記対象物の位置情報を得る手段と、前記画像データにおける前記対象物の位置情報とが設けることにより、前記対象物の3次元位置及び／又は3次元姿勢の認識を可能にする。

【0011】

請求項 2 に係る発明では、同じく上記タイプの画像処理装置に、前記対象物と同種の物体を視点に対して一つの基準相対姿勢にして捉えた画像データに基づいてモデルパターンを作成する手段と、前記モデルパターンに 2 次元の幾何学的変換を施すことにより、前記基準相対姿勢と 3 次元的に異なる相対姿勢での対象物の見え方を表す変換モデルパターンを作成する手段と、前記相対姿勢の情報と前記変換モデルパターンとを対応させて複数記憶する記憶手段と、前記対象物を含む画像データを取込む画像データ取り込み手段と、前記対象物を含む画像データに対して前記複数の変換モデルを使用してパターンマッチングを行い、適合する変換モデルパターンを選択する手段と、前記選択した変換モデルパターンと適合した、前記画像データにおける前記対象物の位置情報を得る手段とを設けることにより、モデルパターンを教示した時と 3 次元的に異なる相対姿勢に置かれた対象物の 3 次元位置及び／又は 3 次元姿勢の認識を可能にする。

【0012】

ここで、これら発明において、前記幾何学的変換がアフィン変換であり、対象物の傾きの符号を追加計測を行うことにより求めるようにすることが出来る。その場合、前記追加計測は、前記モデルパターンを少なくとも 2 つの部分の部分モデルパターンに分割し、夫々の部分モデルパターンにアフィン変換を施して作成した変換部分モデルパターンでパターンマッチングを行って、夫々の最も適合するサイズを求め、該求めたサイズの大小を比較することにより行うことが出来る。

【0013】

また、前記追加計測は、前記画像データ取り込み手段の近傍に別途設けた変位センサにより、対象物上の少なくとも 2 点と該変位センサとの距離を夫々計測し、計測した距離を比較することにより行っても良く、前記画像データ取り込み手段を少し移動、または少し傾けて再度取込んだ画像に対してパターンマッチングを行い、対象物の姿勢の傾きが前回より大きくなるか小さくなるかを比較することにより行っても良い。

【0014】

更に、上記各態様の画像処理装置をロボットシステムに組み込むこともできる

。その場合、同ロボットシステムには、前記ロボットの前記対象物に対する相対的な作業姿勢、または前記対象物に対する相対的な作業姿勢及び相対的な作業位置を記憶する手段と、前記認識した対象物の3次元位置姿勢に基き、前記ロボットの作業姿勢、または作業姿勢及び作業位置を求める手段とを設ける。また、前記画像データ取り込み手段を前記ロボットに搭載することが出来る。

【0015】

【発明の実施の形態】

図2は、本発明の1つの実施形態に係るロボットシステムについて、全体配置の概要を示したものである。図示されているように、符号10は例えば垂直多関節ロボット（以下、単に「ロボット」という）で、ケーブル6によってロボット制御装置20に接続され、同ロボット制御装置20によってその動作が制御される。ロボット10のアーム先端には、ハンド13及び撮像手段14が取付けられている。ハンド13は、取出し対象物（部品）33の把持に適した把持機構を有しており、その制御はロボット制御装置20によって行なわれる。なお、ハンド13の制御のための信号及び電力の供給は、ロボット制御装置20との間の接続するケーブル8によって行なわれる。

【0016】

撮像手段14は、CCDビデオカメラなど周知のものが使用可能である。撮像手段14は、ケーブル9によって視覚センサ用の制御処理装置15に接続されている。制御処理装置15は、撮像手段によるセンシング動作を制御するとともに、センシングで得られた光検出信号（ビデオ映像信号）を処理し、ロボット制御装置2に所要の情報をLANネットワーク7を介して送るためのハードウェアとソフトウェアを備えたもので、例えばパーソナルコンピュータを用いることができる。

【0017】

また、後述する態様で、改良されたマッチング方式で、2次元画像から対象物33を検出するための処理を行なう。なお、本発明に言う「画像処理装置」は、本実施形態においては、撮像手段14と制御処理装置15を合わせたものが対応している。なお、符号40は必要に応じてロボットに搭載される変位センサで、

その使い方については後述する。

【0018】

図示した例では、ハンド13によって取り出される対象物33は、ロボット10の近くに置かれたカゴ状の容器31内に多数バラ積み状態で収容されている。容器31は例えば、内壁32で規定される矩形の開口を持つものを使用するが、一般には形状に特に制限はない。また、対象物33は特に容器内に収容されている必要はなく、撮像と把持に支障がない所定範囲に置かれていれば良い。

【0019】

さて、上記ロボットシステムを用いて対象物13の取出し作業を行なう場合には、先ず、画像処理装置（撮像手段14と制御処理装置15）を用いて、対象物を認識しなければならない。そのために、ロボット制御装置2から制御処理装置5へ撮像指令が送られ、適当な視野の大きさ（最低1個の対象物33の画像を撮像出来る視野）で1個以上の対象物33の像を含む2次元画像が取得される。制御処理装置15は、ソフトウェアによる画像処理を行い、この2次元画像の中から対象物を検出する。ここで、対象物33の姿勢が3次的に不定で未知であるために、従来技術では前述したような問題に直面する訳であるが、本実施形態では、この問題を、教示されたモデルパターンに幾何学的変換を施した変換モデルパターンを使ってパターンマッチングを行うことで、解決する。以下、以下、順を追って説明する。

【0020】

図3は、傾いた対象物（図2における対象物33に対応）をカメラ（図2における撮像手段14に対応）で捉えたときに、どのような像が得られるかを示したものである。対象物1、2自体は同一サイズ、同一形状で、説明の便宜上、長方形であるとする。今、対象物1をカメラに正対して置かれた対象物とすれば、カメラに像1のように長方形として結像する。また、この対象物1の正対撮像画像1をマッチングに用いる基準モデル画像とする。なお、一般には、基準モデル画像を取得する際の撮像方向は任意であり、必ずしもカメラに正対して置かれた対象物の像を取得する必要はない。

【0021】

一方、カメラに対して、 θ 方向に（即ち、紙面に平行な面内で）角度 ϕ だけ傾いて置かれた対象物 2 は、カメラには像 2 のようにひしゃげた形で結像する。ここで、「 θ 方向」とは、「カメラの光軸周り（ θ 軸）の方向について、対象物 1（基準画像を取得した時の位置・姿勢にあるもの）と比較して角度 θ 回転した方向」という意味である。図 3 の上半部の描示は、「角度 θ の方向」から見た投影図（角度 θ の方向の平面で切った断面図）で描かれている。

【0022】

ここで、像 1（基準画像）と像 2（基準画像取得時の対象物とは位置、姿勢が 3 次元的に異なっている対象物の像）の関係を、2 次元の幾何学的な変換として表すことを考える。両者の関係を幾何学的変換で表すことができれば、像 1 をモデルパターンとして教示しておき、モデルパターンに幾何学的な変換を施すことで、像 2 に近い像を作ることが出来ることになるからである。

先ず、3 次元空間内での対象物の 3 次元的な姿勢の変化を下記（1）式のように定義する。（1）式中における回転行列の行列要素 $r_1 \sim r_9$ の定義の仕方はいろいろある。ここでは、一例として、図 4 のように対象物の中心付近に基準点 O を設定し、点 O を通り z 軸に平行な直線周りの回転を R 、点 O を通り y 軸に垂直な直線を z 軸周りに θ だけ回転したの直線周りの回転を ϕ で表わし、これら 3 つのパラメータを定義を下記（2）式で示す。各要素別に列記すれば（3）式となる。なお、これ以外の手段（例えばロール・ピッチ・ヨー）を用いて定義しても良い。

【0023】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad \dots \dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos R & -\sin R & 0 \\ \sin R & \cos R & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \cos \phi \cos \theta \cos(R - \theta) - \sin \theta \sin(R - \theta) \\ r_2 &= -\cos \phi \cos \theta \sin(R - \theta) - \sin \theta \cos(R - \theta) \\ r_3 &= \sin \phi \cos \theta \\ r_4 &= \cos \phi \sin \theta \cos(R - \theta) + \cos \theta \sin(R - \theta) \\ r_5 &= -\cos \phi \sin \theta \sin(R - \theta) + \cos \theta \cos(R - \theta) \\ r_6 &= \sin \phi \sin \theta \\ r_7 &= -\sin \phi \cos(R - \theta) \\ r_8 &= \sin \phi \sin(R - \theta) \\ r_9 &= \cos \phi \end{aligned} \right\} \dots \dots (3)$$

【0024】

次に、カメラによる撮像は、「3次元空間内の点を2次元平面（画像面）上に投影する写像」であるから、この写像を表現するカメラモデルを考える。ここでは例として、図5のような理想的なピンホールカメラのモデルを採用する。このピンホールカメラの焦点距離を f とすると、3次元空間内の点 (x, y, z) と、その像 (u, v) の関係は、下記(4)式で表わされる。

【0025】

そして、モデルパターンを教示するときの、点Oの3次元空間内での座標を (x_0, y_0, z_0) 、対象物上の任意の点Pの座標を (x_1, y_1, z_1) とすると、モデルパターンを教示したときの、点O (x_0, y_0, z_0) の像 (u_0, v_0) は、下記(5)式で表わされる。

【0026】

【数2】

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{f}{z} x \\ v &= \frac{f}{z} y \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

$$\left. \begin{aligned} u_0 &= \frac{f}{z_0} x_0 \\ v_0 &= \frac{f}{z_0} y_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

【0027】

更に、モデルパターンを教示したときの、点P (x_1, y_1, z_1) の像 (u_1, v_1) は、対象物がカメラに対して正対していると考え、 $z_1 = z_0$ とおけるから、下記(6)式となる。

【0028】

【数3】

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \frac{f}{z_1} x_1 = \frac{f}{z_0} x_1 \\ v_1 &= \frac{f}{z_1} y_1 = \frac{f}{z_0} y_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

【0029】

次に、3次元空間内で対象物の姿勢を $r_1, r_2, \dots\dots r_9$ だけ変え、更に

、Oが (x_2, y_2, z_2) に来るように平行移動した場合を考える。すると、移動後の点Pの座標 (x_3, y_3, z_3) は下記(7)式で表わされる。また、移動後の点O (x_2, y_2, z_2) の像 (u_2, v_2) は下記(8)式で表わされ、移動後の点P (x_3, y_3, z_3) の像 (u_3, v_3) は下記(9)式で表わされることになる。

【0030】

【数4】

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= r_1(x_1 - x_0) + r_2(y_1 - y_0) + r_3(z_1 - z_0) + x_2 \\ y_3 &= r_4(x_1 - x_0) + r_5(y_1 - y_0) + r_6(z_1 - z_0) + y_2 \\ z_3 &= r_7(x_1 - x_0) + r_8(y_1 - y_0) + r_9(z_1 - z_0) + z_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

$$\left. \begin{aligned} u_2 &= \frac{f}{z_2} x_2 \\ v_2 &= \frac{f}{z_2} y_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} u_3 &= \frac{f}{z_3} x_3 \\ v_3 &= \frac{f}{z_3} y_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots (9)$$

【0031】

さて、今注目しているのは、対象物が3次元的に異なる相対姿勢を取ることで画像上での対象物の像の形状がどのように変化するかということのみであるから（即ち、画像面上のどこに映るかは問題でないから）、ベクトルOPの像の変化の関係を求めれば十分である。ここで、下記(10)式のように u, v, u', v' を定義しておく。 (u, v) は、モデルパターンを教示したときのベクトルOPの像、 (u', v') は、移動後のベクトルOPの像である。

【0032】

【数5】

$$\left. \begin{aligned} u &= u_1 - u_0 = \frac{f}{z_0} x_1 - \frac{f}{z_0} x_0 = \frac{f}{z_0} (x_1 - x_0) \\ v &= v_1 - v_0 = \frac{f}{z_0} y_1 - \frac{f}{z_0} y_0 = \frac{f}{z_0} (y_1 - y_0) \\ u' &= u_3 - u_2 = \frac{f}{z_3} x_3 - \frac{f}{z_2} x_2 \\ v' &= v_3 - v_2 = \frac{f}{z_3} y_3 - \frac{f}{z_2} y_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

【0033】

そして、(10)式に(5)式～(9)式を代入して整理すると、下記(11)式が得られる。

【0034】

【数6】

$$\left. \begin{aligned} u' &= \frac{f(fx_2 + z_0(r_1u + r_2v))}{fz_2 - z_0(r_7u - r_8v)} - \frac{fx_2}{z_2} \\ v' &= \frac{f(fy_2 + z_0(r_4u + r_5v))}{fz_2 - z_0(r_7u - r_8v)} - \frac{fy_2}{z_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

【0035】

従って、3次元空間内で、対象物が3次的に位置姿勢を変えた時の対象物の像の形状の変化は、幾何学的変換で表すと(11)式のようになることがわかる。ところで、(11)式の右辺には x_2 や y_2 の項が含まれている。これは、対象物がカメラの光軸に垂直な平面内を平行移動しただけでも(3次的な姿勢の変化がなくても)、カメラに映る像の形が変形することを示している。

【0036】

これら成分があると、モデルパターンと画像をパターンマッチングするという方法の適用ができなくなってしまうが、カメラと対象物の間の距離を十分とれば、この成分を無視することが出来る。そこで、ここではこれら成分は十分小さい

と考慮して無視することにする。具体的には、 x_2 や y_2 の値に関係なく $x = 0$, $y = 0$ の時と同じ形状の像が得られると仮定し、 $x_2 = 0$, $y_2 = 0$ とする。そうすると、(11) は、下記 (12) 式となる。

【0037】

【数7】

$$\left. \begin{aligned} u' &= \frac{fs(r_1u + r_2v)}{f - s(r_7u + r_8v)} \\ v' &= \frac{fs(r_4u + r_5v)}{f - s(r_7u + r_8v)} \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

【0038】

ここで、 $s = z_0 / z_2$ であり、これはカメラから対象物までの被写体距離が、モデルパターンを教示した時の何分の1になったかを示す値に相当する。別の言い方をすると、画像上で像の大きさがモデルパターンを教示した時の何倍に拡大縮小されたかを示す量、即ちスケールに相当する。

【0039】

以上の準備の下で、以下に (12) 式を幾何学的変換として採用した場合の処理手順の例について説明する。前述したように、本発明は、各請求項1に対応する諸形態で実施し得るが、請求項1に対応する形態が最も基本的である。そこで先ず、請求項1に対応する諸形態における処理手順について、図6のフローチャートを参照して説明する。なお、これら処理は制御処理装置15内でCPUと予め装備したソフトウェアによって実行される。また、パターンマッチングのための基準画像とそこから抽出するモデルパターン（ここでは長方形の特徴部）は、制御処理装置15（図2参照）に記憶済みとする。

【0040】

ステップS1では、複数の幾何学的変換を発生する。例えば、 $r_1 \sim r_9$ を前記 (2) 式のように定義した場合、対象物の3次元的な相対姿勢は R , θ , ϕ の3つのパラメータで定義出来る。ここでは、この3つに、前記 (12) 式に出てくるスケール s を加えた4つのパラメータを対象物の3次元的な位置姿勢を示す

情報として扱うことにする。カメラの焦点距離 f は、カメラを一旦設置してしまった後には変化しないので定数として扱う。

【0041】

s 、 R 、 θ 、 ϕ それぞれの変化し得る範囲と、 s 、 R 、 θ 、 ϕ それぞれを変化させる間隔が与えられると、複数の幾何学的変換が決定出来る。例えば、 s 、 R 、 θ 、 ϕ の変化し得る範囲と間隔をそれぞれ表 1 のように与えたとする。

【0042】

【表 1】

	範囲	間隔
R	$-180 \sim 180^\circ$	10°
s	$0.9 \sim 1.1$	0.05
θ	$-90 \sim 90^\circ$	10°
ϕ	$-10 \sim 10^\circ$	10°

【0043】

ここで、 s を 0.9 から 1.1 まで 0.05 刻みで変化させ、 R を -180 から $+180$ まで 10 刻みで変化させる。また、 θ は -90 から $+90$ まで 10 刻みで変化させ、 ϕ を -10 から $+10$ まで 10 刻みで変化させるものとする。そうすると、幾何学的変換は、 s 、 R 、 θ 、 ϕ の組み合わせの数だけ出来るので、幾何学的変換の数 N は $((180 - (-180)) \div 10) \times ((1.1 - 0.9) \div 0.05 + 1) \times ((90 - (-90)) \div 10 + 1) \times ((10 - (-10)) \div 10 + 1) = 6840$ 通りとなる。

ステップ S2 ではこれら N 通りの幾何学的変換の中の i 番目のものを指定するための指標 i を初期設定 ($i = 1$) する。

【0044】

ステップ S3 では、モデルパターンを前記 (12) 式を用いて変換することにより i 番目の変換モデルパターンを作成する。計算時の s 、 R 、 θ 、 ϕ の値は、当然、 i 番目の変換モデルパターンに対応する数値を用いる。

続くステップ S4 では、 i 番目の変換モデルパターンを使ってパターンマッチングを行う。

【0045】

ここで、この2つのステップS3、S4の内容の詳細は、パターンマッチングの手法として何を使用するかによって異なってくる。パターンマッチングの手法自体は、様々な手法が周知でありいずれかを選択することが可能である。例えば、正規化相互相関やSADなど使ったパターンマッチングでは、画像の濃淡パターンそのものがモデルパターンとなっているので、元のパターンの (u, v) の画素の濃淡が、変換後のパターンの (u', v') の画素にくるように濃淡パターンを画素毎に移動してやれば良い。

また、一般化ハフ変換などの特徴点を使ったパターンマッチングでは、基準点から特徴点へのベクトル (u, v) を (u', v') に変換するようにRテーブルを変換してやれば良い。

【0046】

次に、ステップS5では、パターンマッチングを行った結果から、予め設定された値以上の類似度を示す極大点を探し、極大点があれば、その点の画像座標 (u, v) を抽出すると共に、その変換モデルパターンを作成するのに使った3次元的な相対姿勢の情報 s, R, θ, ϕ (i 番目の変換モデルパターンを規定するパラメータ)と共に記憶する。

【0047】

ステップS6では、ステップS1で生成した全ての幾何学的変換についてパターンマッチングを行ったか確認し、パターンマッチングを行っていないものがあれば、 i 値を1アップし(ステップ7)、ステップS3へ戻り、ステップS3～S67を繰り返す。

【0048】

このような処理により、ステップS5で得られたベストの類似度を示すもののパラメータ値 (s, R, θ, ϕ) を決めることができ、これに基づいてその画像が確かに検出すべき対象物の画像であることを認識し、且つ、パラメータ値 (s, R, θ, ϕ) からその対象物の3次元位置及び／又は姿勢を定めることが出来る。なお、ステップS5で得られたベストの類似度を示すもののパラメータ値 (s, R, θ, ϕ) を決めるに際して、最良及び次善のものを選び、その中間のパ

ラメータ値をベスト値として採用しても良い。

請求項 2 に対応する態様の場合の処理手順も、基本的には請求項 1 に対応する態様の場合と同じであるが、作成した変換モデルパターンと、変換モデルパターンを作成するのに用いた姿勢の情報を対応づけて記憶しておき、記憶している変換モデルパターンについて順次パターンマッチングを行う点が異なる。

【0049】

また、請求項 3 に対応する態様では、カメラモデルとして弱中心投影を仮定することで、前記 (12) 式を更に簡単化する。この場合、前記 (12) 式において $r_7 = r_8 = 0$ とおけるので、前記 (12) 式は下記 (13) 式となる。これは幾何学的変換をアフィン変換を用いて表したことに他ならない。

【0050】

【数 8】

$$\left. \begin{aligned} u' &= s(r_1 u + r_2 v) \\ v' &= s(r_4 u + r_5 v) \end{aligned} \right\} \dots \dots (13)$$

【0051】

この場合も、基本的な実施例の手順は請求項 1、2 に対応する態様と同じであるが、ステップ S3 において、変換式として前述 (12) 式に代えて上記 (13) 式を用いる点が異なっている。但し、(13) 式では、 r_7 、 r_8 の項に含まれていた $\sin \phi$ を無視してしまうことになるので、 ϕ の符号が分からなくなる。

この事情を表わしているのが図 7 (a)、(b) である。即ち、この弱中心投影の方式では、本来、図 7 (a) に示す如く対象物 2 は像 2 のように結像するはずが、図 7 (b) に示す如く対象物 3 (対象物 2 と同姿勢) が像 3 のように結像すると見なしていることになる。従って、元の対象物が $+\phi$ (対象物 3) のようであるのか、 $-\phi$ (対象物 4) のようであるのか、が特定できなくなる。

【0052】

そこで、 ϕ の符号も知る必要がある場合には、別途簡単な追加計測を行うことにより確認する。

例えば、請求項 4 に対応する態様では、元のモデルパターンを軸 θ を境に 2 分

割し、2つの部分モデルパターンを使って再度パターンマッチングを行う。最初のパターンマッチングで、適合する位置 (u , v) は分かっているので、部分モデルパターンを使ったパターンマッチングは、その近傍でのみ行えば良い。即ち、図8のように、2つの部分モデルパターンM1、M2として、像(破線)に最もよく適合する大きさのもの2つを決定し、その内のどちらの s 値が大きいかを比較することにより、 ϕ の符号を決定することが出来る。

【0053】

また、請求項5に対応した態様では、ロボットの手首部などに変位センサ40(図2参照)などを搭載しておき、パターンマッチングで見つけた対象物上の2点、望ましくは、適合したパターンの θ 軸の両側1点ずつの変位を計測し、どちらの変位が大きいかを比較することにより、 ϕ の符号を決定する。

【0054】

請求項6に対応した態様は、本実施形態のように、ロボットの手首部などにカメラ4を搭載してある場合などに採用できるもので、ロボット制御装置を用いてロボットを適合したパターンの θ 軸に垂直な方向にカメラを少し移動、もしくは少し傾けて、再度画像を撮像してパターンマッチングを行う。この様子を図9に示した。同図において、符号(A)の画像が上半部に示した符号(A)の撮像位置で得た画像、符号(B)の画像が上半部に示した符号(B)の撮像位置で得た画像、符号(C)の画像が上半部に示した符号(C)の撮像位置で得た画像を表わしている。

最初に撮像した位置を(A)としたとき、カメラを(A)、または(B)のいずれかの撮像位置に移動して得た画像でパターンマッチングを行い、適合したパターンの ϕ が、最初のパターンマッチングで適合したパターンの ϕ よりも大きくなったか小さくなったかを比較することにより、 ϕ の符号を特定することが出来る(例えば、(B)の方へカメラを動かした場合、『(A)での $\phi > (B)$ での ϕ 』か、あるいは、『(A)での $\phi < (B)$ での ϕ 』であるかの判定)。

【0055】

なお、対象物の位置及び／又は姿勢について、センサ座標系上で求められた値を、予め行なったキャリブレーションのデータを用いてロボット座標系上のデー

タに変換してロボット動作に利用する。なお、現実の 3 次元空間内での対象物（上述の改良マッチング手法で検出された対象物）の 3 次元位置及び／又は姿勢は、ロボット座標系上のデータと、撮像時のロボットの位置（ロボット制御装置が常時持っている）から求めることが出来る。図 2 の配置で、把持作業を実行するには、上述の改良マッチング手法で検出された対象物 3 3 の 3 次元位置及び／又は姿勢（ロボット座標系上のデータ）に基づき、周知の方式で、ロボットの作業姿勢、又は作業姿勢及び作業位置を定めて、その対象物の把持・取出しを行なう。1 つの対象物の把持・取出しが終わったら、再度上述の手順で次の対象物を検出し、対象物の把持・取出しを行なえば良い。なお、1 画面中に複数の対象物画像が映る場合には、上述の改良マッチング手法を各画像に順次適用し、順次対象物を検出しても良い。

【 0 0 5 6 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、対象物（例えば部品など）のモデルパターンを 1 つ教示するだけで、モデルパターン教示時と比較して、画像上での形状変化の無い平行移動、回転移動、拡大縮小（画像上での拡大縮小）があった場合の他、画像上での形状が異なって映るような 3 次元的な相対姿勢の相違があっても、取得した画像データ中にその対象物を検出し、同対象物の 3 次元位置及び／又は 3 次元姿勢を認識することが出来るようになる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

従来技術におけるパターンマッチング法の問題点を説明する図で、（a）はモデルパターン教示時における状況を表わし、（b）は実際に対象物を認識しようとした時の状況を表わしている。

【図 2】

本発明の 1 つの実施形態に係るロボットシステムについて、全体配置の概要を示したものである。

【図 3】

傾いた対象物をカメラで捉えたときに、どのような像が得られるかについて説

明する図である。

【図 4】

回転行列の行列要素の決め方を説明するための図である。

【図 5】

理想的なピンホールカメラのモデルについて説明する図である。

【図 6】

実施形態で実行される処理手順の基本形態について説明するフローチャートである。

【図 7】

中心投影の方式（a）と、弱中心投影の方式（b）の相違について説明する図である。

【図 8】

ϕ の符号を定めるために 2 つの部分モデルパターンを用いる方式について説明する図である。

【図 9】

ϕ の符号を定めるために、ロボット移動を利用して複数画像を得る方式について説明する図である。

【符号の説明】

6、8、9 ケーブル

1 0 ロボット（機構部）

1 3 ハンド

1 4 撮像手段（カメラ）

2 0 ロボット制御装置

3 1 容器

3 2 内壁

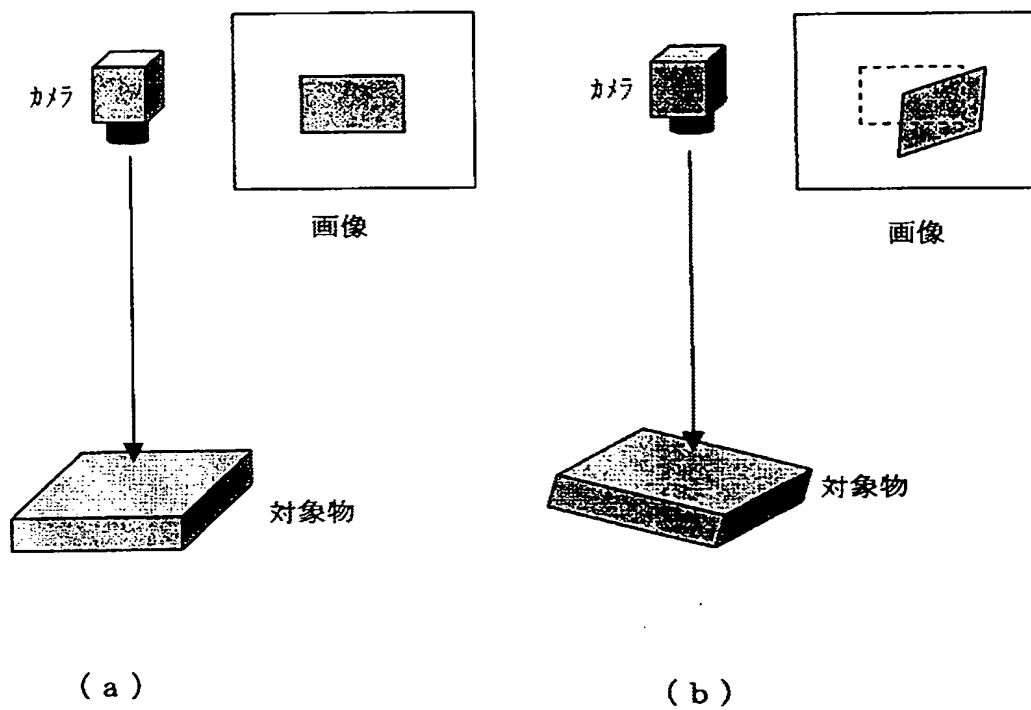
3 3 対象物

4 0 変位センサ

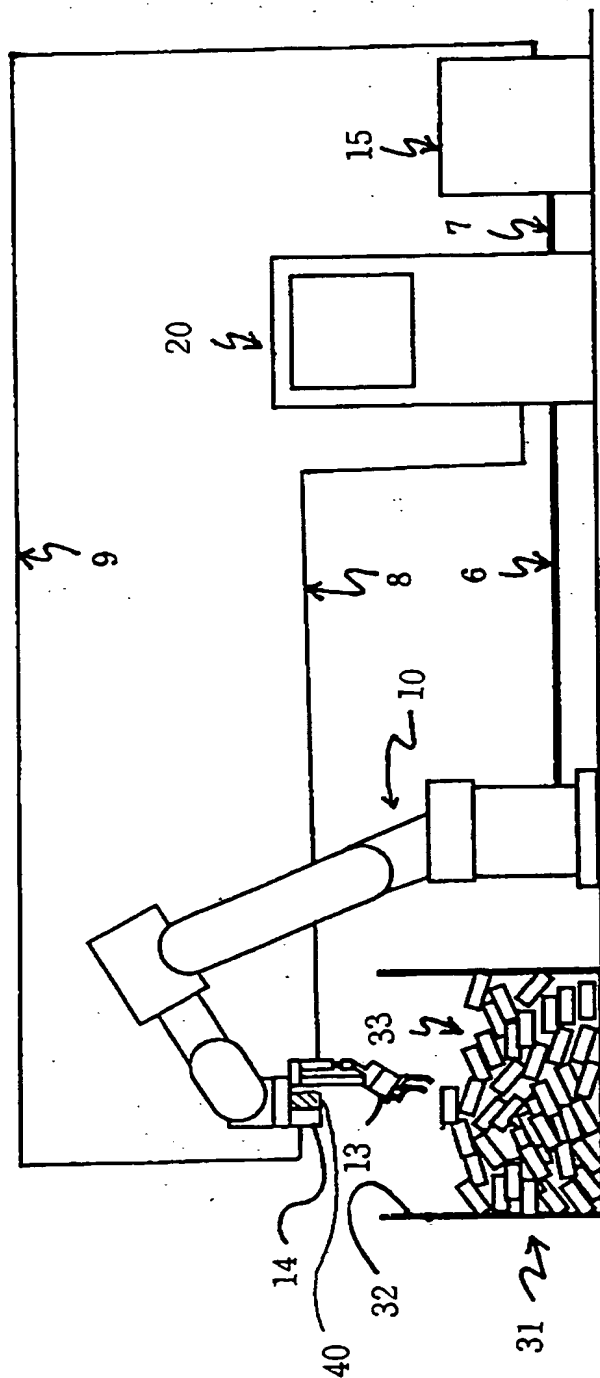
【書類名】

図面

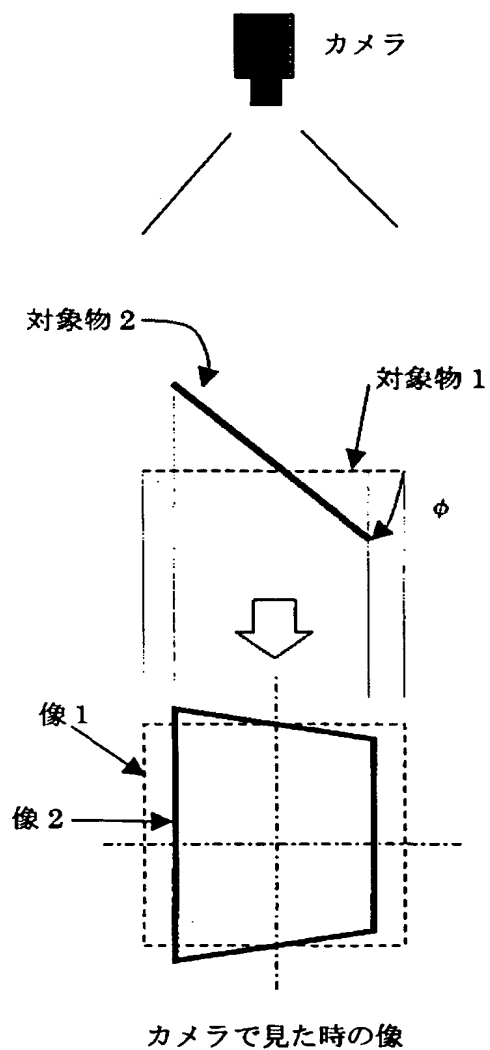
【図 1】



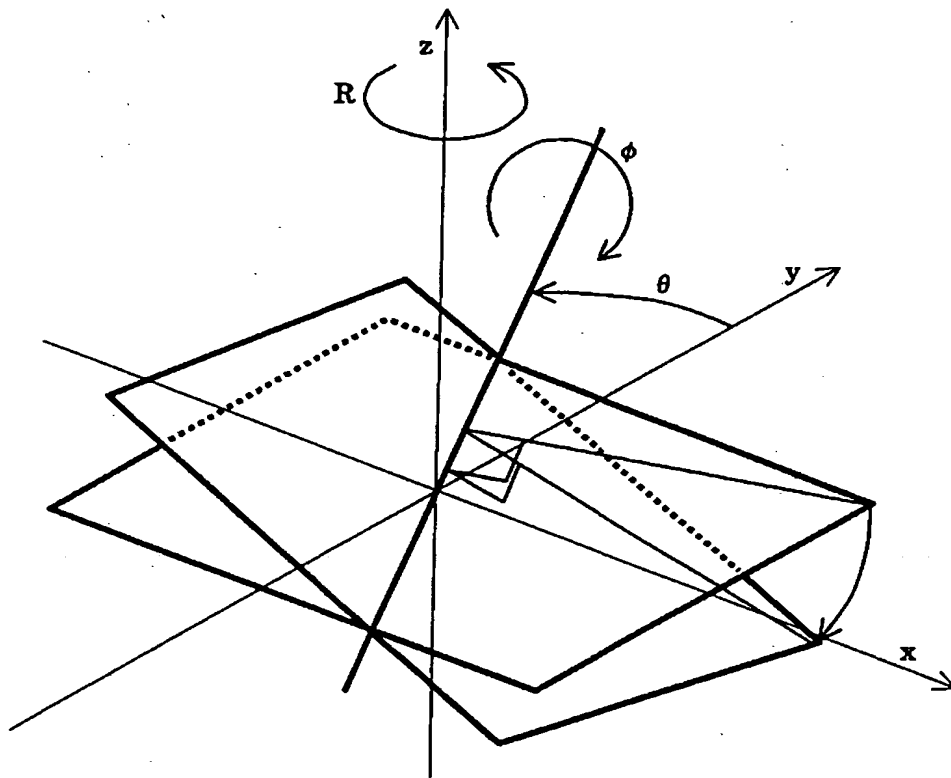
【図 2】



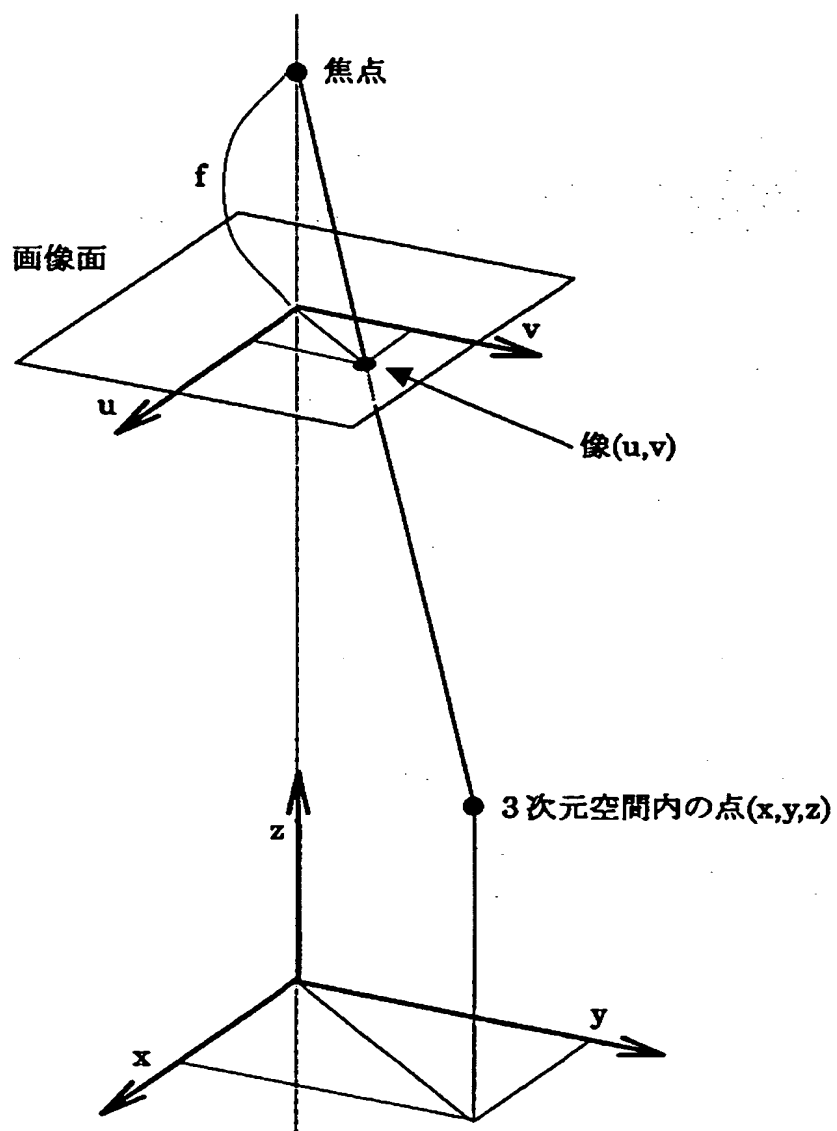
【図 3】



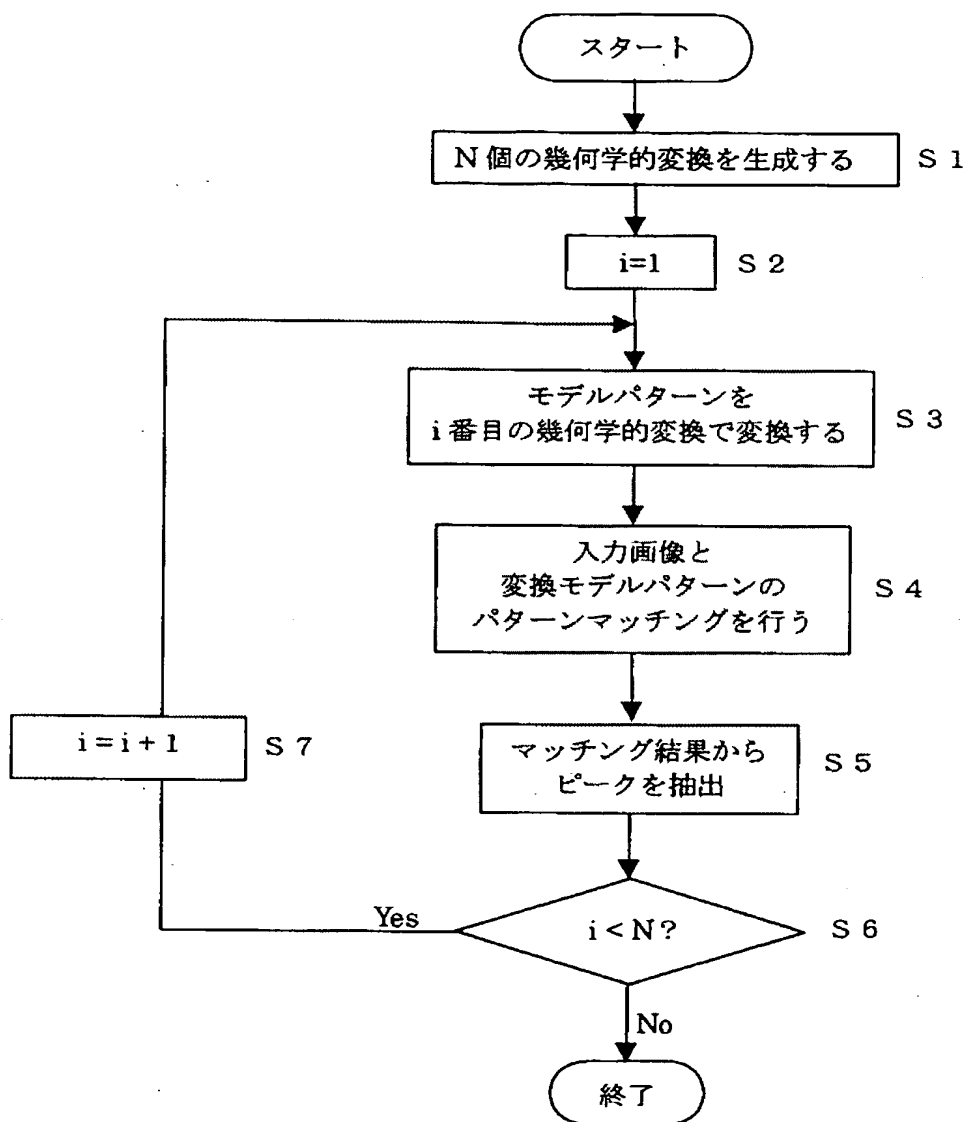
【図 4】



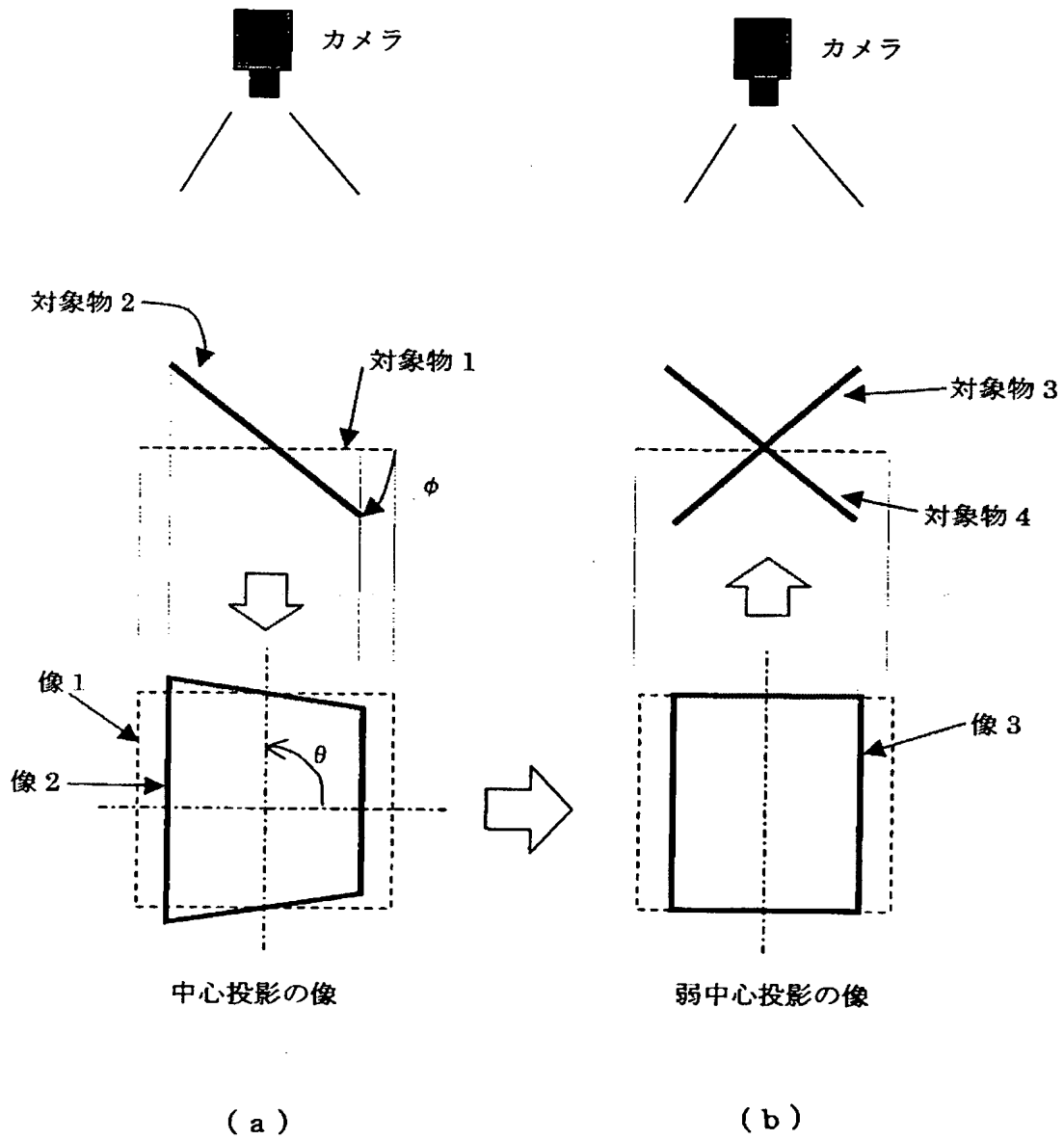
【図 5】



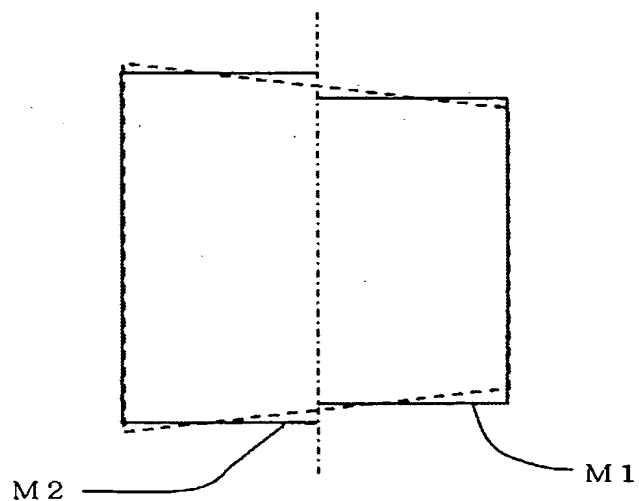
【図 6】



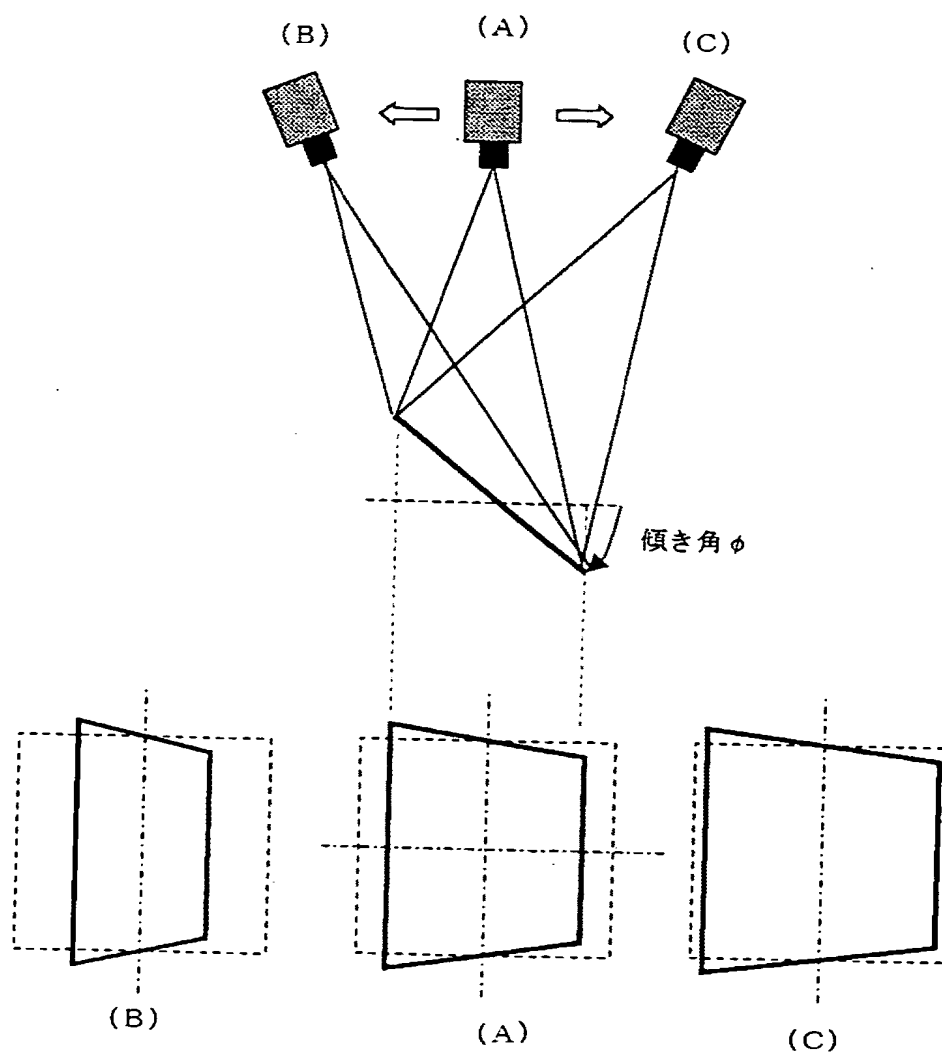
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 位置、姿勢が不定の対象物を検出し、3次元位置及び／又は3次元姿勢を認識すること。

【解決手段】 パターンマッチングのためのモデルパターンを記憶しておき、モデルパターンにN個の幾何学的変換を施す（S 1）。i 番目の幾何学的変換を指定するための指標 i を初期設定し（S 2）、i 番目の変換モデルパターンを作成する（S 3）。i 番目の変換モデルパターンを使ってパターンマッチングを行い（S 4）、予め設定された値以上の類似度を示す極大点を探し、極大点があれば、その点の画像座標を抽出すると共に、その変換モデルパターンを作成するのに使った3次元的な相対姿勢の情報と共に記憶する（S 5）。ベストの類似度を示すものに対応する3次元的な相対姿勢の情報情報に基づいて、3次元位置及び／又は3次元姿勢を認識する。

【選択図】 図 6

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 8 3 3 4 9
受付番号	5 0 3 0 0 4 8 3 7 5 5
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0 0 9 7
作成日	平成 1 5 年 3 月 2 6 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成15年 3月25日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 8 3 3 4 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [3 9 0 0 0 8 2 3 5]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 1 0 月 2 4 日
[変更理由]	新規登録
住 所	山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地
氏 名	ファナック株式会社